



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 195 15 949 A 1**

⑤ Int. Cl.⁸:
G 01 B 11/24
G 01 B 9/023

⑳ Aktenzeichen: 195 15 949.7
㉑ Anmeldetag: 2. 5. 95
㉒ Offenlegungstag: 14. 11. 98

DE 195 15 949 A 1

㉑ Anmelder:
Continental Aktiengesellschaft, 30165 Hannover, DE

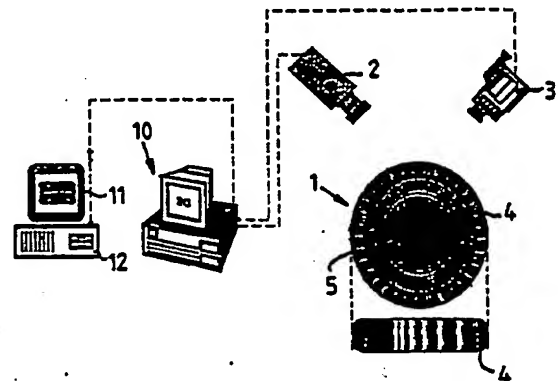
㉒ Erfinder:
Siebeneicher, René, Dipl.-Ing., 31535 Neustadt, DE;
Duwe, Hans-Peter, Dr., 83684 Tegernsee, DE

㉓ Entgegenhaltungen:
DE 38 29 925 C2
EP 05 47 384 A2

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉔ Verfahren und Vorrichtung zur flächenhaften Vermessung und Erfassung des Profilabriebs eines Fahrzeugreifens

㉕ Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur flächenhaften Vermessung und Erfassung des Profilabriebs auf der Lauffläche eines Fahrzeugreifens vorgeschlagen, bei dem die Profiloberfläche zunächst über ihren Umfang in mehrere Meßabschnitte unterteilt wird und eine topometrische Vermessung durch eine Kombination des Phasenshift- und des Cray-Code-Verfahrens erfolgt. Durch Vergleich der aus beiden Verfahren gewonnenen Meßwerte wird die Mehrdeutigkeit der Höhenwerte eliminiert und nach Vergleich mit einer Referenzkontur werden dann absolute Höhenwerte des Reifenprofils erhalten, die in unterschiedlichen Grautönen oder in Falschfarbanzuordnung abgebildet werden können.



DE 195 15 949 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur flächenhaften Vermessung und Erfassung des Profilabriebs auf der Lauffläche eines Fahrzeugreifens sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Die von einem fahrenden Fahrzeug verursachte Geräuschentwicklung wird, insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten, auch von dem Abrollgeräusch der Reifen mitbestimmt. Auf die Entstehung des Abrollgeräuschs hat die Profilform eine nicht geringe Bedeutung.

Aber auch während des Betriebes hervorgerufene ungleichmäßige Abnutzungen des Reifenprofils führen dazu, daß sich mit steigender Laufleistung das Abrollgeräusch gegenüber einem Neureifen erhöht. Dies führt nicht nur zu einer Belästigung der Umwelt, sondern infolge der bei der Fahrzeugentwicklung gezielt betriebenen Reduktion der Fahrtwindgeräusche, werden für die Fahrzeuginsassen Abrollgeräusche der Reifen hörbar, was zu einer deutlichen Komforteinbuße führt. Darüberhinaus werden durch Erscheinungen des unregelmäßigen Abriebs natürlich auch die Fahreigenschaften negativ beeinflusst.

Weiterhin wird durch das Auftreten unregelmäßigen Abriebs die mögliche Laufleistung eines Reifens durch das partielle Erreichen der gesetzlich vorgeschriebenen Mindestprofiltiefe reduziert. Dies steht jedoch sowohl zur angestrebten Kundenzufriedenheit auch als zur gebotenen Ressourcenschonung im Widerspruch.

Für die Weiter- bzw. Neuentwicklung von Fahrzeugreifen ist es daher wichtig, den Profilabrieb auf der Lauffläche eines im Gebrauch gewesenen Fahrzeugreifens zu kennen, um hieraus Schlußfolgerungen für gezielte konstruktive Veränderungen zu finden.

Die EP-A-0 547 364 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen unregelmäßiger Profilabnutzung. Ein aus Reifen und Felge bestehendes Rad ist auf einer Achse drehbar angeordnet. Parallel zu der Drehachse des Rades ist gegenüber der Lauffläche ein Lasersensor angeordnet, der in einer parallel zur Drehachse verlaufenden Richtung verschiebbar ist und senkrecht zur Drehachse einen Laserstrahl auf die Reifenlauffläche wirft und das von der Reifenlauffläche reflektierte Licht wieder empfängt. Aus dem reflektierten Licht wird in einer mit dem Lasersensor in Wirkverbindung stehenden Rechner-/Auswerteeinheit der Abstand zwischen dem Lasersensor und der Oberfläche des Reifens, an der das Licht reflektiert wird, ermittelt. Aus den bekannten Koordinaten des Lasersensors und dem Abstand des Sensors zum Reflexpunkt am Reifen (Meßpunkt) kann die Lage des Meßpunktes im Raum ermittelt werden. Zur Ermittlung der Reifenkontur wird der Sensor vor einer Profilrippe des Reifens ausgerichtet, das Rad mit einer definierten Geschwindigkeit gedreht und der Laserstrahl des Lasersensors getaktet. Auf diese Art werden nach einer vollen Umdrehung des Rades eine Vielzahl von auf einer Linie des Umfangs liegenden Meßpunkte erfaßt. Nach einem Umlauf wird der Sensor parallel zur Drehachse des Rades verschoben und entlang einer neuen Umfangslinie eine Vielzahl von Meßpunkten ermittelt. In der Auswerteeinheit werden die Meßpunkte zu einem Abbild der Reifenlauffläche zusammengesetzt, so daß unterschiedliche Abnutzungen des Reifens auf einem Bildschirm sichtbar gemacht werden können.

Außerdem ist es bekannt, unregelmäßige Abriebeffekte durch Fotografieren des Versuchsreifens bildhaft darzustellen, um damit einen visuellen Eindruck zu er-

zeugen. Weitere Möglichkeiten zur Erfassung der Ausprägung und Ausdehnung von Abriebphänomenen bestehen im Betrachten und Ertasten derselben.

Hiervon ausgehend soll ein neues Verfahren zur flächenhaften Vermessung geschaffen werden, mit dem unregelmäßig abgeriebenes Reifenprofil vermessen und erfaßt werden kann. Außerdem soll eine Vorrichtung zur Ausführung des neuen Verfahrens zur Verfügung gestellt werden.

Hinsichtlich des Verfahrens erfolgt die Lösung der Aufgabe durch folgende Schritte:

- die Profiloberfläche des Reifens wird über ihren Umfang in mehrere Meßabschnitte unterteilt,
- für jeden Meßabschnitt erfolgt mittels strukturierter Lichts eine topometrische Vermessung nach dem Phasenshift-Verfahren, wobei zur Erzeugung des Interferenzmusters mindestens drei phasenverschobene Streifenprojektionen aufgezeichnet werden,
- zusätzlich zum Phasenshift-Verfahren erfolgt eine topometrische Vermessung jedes Meßabschnitts nach dem Gray-Code-Verfahren,
- durch Vergleich der aus dem Phasenshift-Verfahren erhaltenen Höhenwerte und der aus dem Gray-Code-Verfahren erhaltenen eindeutigen Höhenzuordnungen wird die Mehrdeutigkeit der Höhenwerte eliminiert,
- die so erhaltenen eindeutigen Höhenwerte werden mit einer Referenzkontur verglichen und durch Subtraktion werden kalibrierte, absolute Höhenwerte der Profiloberfläche ermittelt,
- die kalibrierten absoluten Höhenwerte werden gespeichert, der Reifen um einen Meßabschnitt weitergedreht und die einzelnen Schritte so oft wiederholt, bis der Reifen über seinen vollen Umfang vermessen wurde.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann in vorteilhafter Weise eine flächenhafte 3D-Vermessung in sehr kurzer Aufnahmezeit durch Kombination von Phasenshift-Verfahren mit Gray-Code-Verfahren erfolgen. Zur Bildaufnahme kann eine Videokamera mit CCD-Chip verwendet werden. Die erreichbare Flächenauflösung erfolgt aus der Pixelauflösung der Kamera und der Digitalisierung des Bildverarbeitungssystems. Zur Vermessung einer kompletten Lauffläche werden, abhängig von der Reifengröße, zwischen 10 und 20 Einzelbilder bei äquidistanten Drehwinkeln aufgenommen. Mit einer kalibrierten Aufnahmegeometrie lassen sich die kartesischen Koordinaten dieser Einzelmessungen in ein lokales, polares Koordinatensystem umrechnen.

Die Referenzkontur wird vorteilhaft durch azimutale Mittelung der zuvor ermittelten kalibrierten, absoluten Höhenwerte entlang einzelner Meßspuren analog der Gleichung:

$$r_z = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} r_z(\omega) d\omega$$

ermittelt. Wenn die Kontur des zu vermessenden Reifens infolge der aufgetretenen Abriebeffekte nicht mehr mit der Ausgangskontur vergleichbar ist, kann die Referenzkontur durch interaktive Bestimmung ausgewählter Konturpunkte und anhand dieser Konturpunkte

durchgeführter geeigneter mathematischer Interpolationsverfahren, wie beispielsweise die Spline-Interpolation, ermittelt werden. Damit ist es auch möglich, beispielsweise Schulterschrägabnutzungen oder eine Freilauftrille zu berücksichtigen. Bei Berücksichtigung der hier beim Ergebnis verursachten gleichzeitigen Darstellung von Abrieb- und Konturveränderungen ist dies Verfahren auch unter Zuhilfenahme eines Neureifens anwendbar. Um den Anteil der Konturveränderungen möglichst gering zu halten, ist es vorteilhaft, wenn der Neureifen dementsprechend zuvor einem Wachstumslauf unterzogen wird.

Bei asymmetrischem Verschleiß der Reifenkontur ist es vorteilhaft, die Referenzkontur nur über einer Profilhälfte zu ermitteln und die erhaltene Referenzkonturhälfte an der Profilmittellachse, dem Zenit, zu spiegeln. Sinnvollerweise wird die Referenzkontur an der Profilhälfte ermittelt, die die geringeren Abriebserscheinungen aufweist, da die Referenzkontur ja die theoretisch erwartete gleichmäßige Abnutzung des Reifenprofils unter Berücksichtigung der Laufeistung widerspiegelt.

Zur Eliminierung von Einflüssen der sogenannten Tire Uniformity, das heißt also Schwankungen der Reifengleichförmigkeit, wird über den Umfang des Reifens jeweils der Radius des Zenits am Abriebreifen bestimmt, und an den daraus erhältlichen Kurvenverlauf der kalibrierten absoluten Höhenwerte die ermittelte Referenzkontur angehängt. Durch die Bestimmung der Radien des Zenits erhält man den Kurvenverlauf der absoluten Höhenwerte des Zenits über der Drehachse. Die Auflösung wird vorteilhafterweise 400 gon betragen. Wird nun die ermittelte Referenzkontur an diese Kurve angehängt und winkelmäßig von den Original-Meßdaten abgezogen erhält man als Differenz die Darstellung der ungleichmäßig abgeriebenen Profilbereiche.

Die Radiusbestimmung des Zenits erfolgt vorteilhafterweise über ein im Zenit auf den Abriebreifen aufgelegtes flexibles Band. Zur Berechnung einer Referenzkontur können auch die Höhenwerte mehrerer über den Reifen gelegter Bänder ermittelt werden.

Damit der ungleichmäßige Profilabrieb visuell erkennbar ist, werden den kalibrierten absoluten Höhenwerten von einem Bildverarbeitungssystem entsprechende unterschiedliche Grauwerte zugewiesen und auf einem Bildschirm dargestellt, wodurch sich dann ein Abbild des unterschiedlichen Profilabriebs einstellt.

Wenn den unterschiedlichen Grauwerten unterschiedliche Falschfarben zugewiesen werden, ist die farbliche Darstellung des Profilabriebs kontrastreicher und kann vom Betrachter schneller erfaßt werden, ohne daß er exakte Kenntnis über definierte Höhenwerte benötigt.

Eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist gekennzeichnet durch eine antreibbare Drehvorrichtung für einen Reifen, einen oberhalb des Reifens in einem Winkel zur Lotrechten angeordneten programmierbaren LCD-Streifenprojektor zur Erzeugung von Linienmustern auf der Profiloberfläche, eine oberhalb des Reifens gegenüber dem Streifenprojektor und in einem Winkel zur Lotrechten angeordneten Kamera, zur Erfassung der Linienverläufe auf der Profiloberfläche, einen mit dem Streifenprojektor und der Kamera verbundenen Rechner zur Bildverarbeitung mit einer Einrichtung zur Erfassung, Auswertung und Darstellung der Meßdaten, einen mit dem Rechner verbundenen Monitor, und einem mit dem Rechner verbundenen Drucker zur Ausgabe der Meßdaten.

Der Streifenprojektor und die Kamera sind vorzugsweise in zwei zur Drehachse des Reifens senkrechten Richtungen bewegbar und um eine zur Drehachse des Reifens parallele Achse schwenkbar angeordnet.

Zur Kalibrierung des Meßsystems ist ein linear verschiebbarer Tisch mit einer der Größe des ausgewählten Meßabschnittes am Reifen entsprechenden planen Oberfläche auf die Drehachse des Reifens aufsetzbar, über die Höhe des Profils des Reifens verschiebbar und in mehrere Winkelpositionen drehbar.

Anhand einer Zeichnung soll die Erfindung nachfolgend näher erläutert werden. Es zeigt:

Fig. 1 den Aufbau des Meßsystems,

Fig. 2 die Anordnung der Meßapparatur,

Fig. 3 die Darstellung des Meßabschnittes des Reifens bei der Streifenprojektion,

Fig. 4 die Darstellung des unregelmäßigen Abriebsbildes eines Reifens in verschiedenen Grauwerten,

Fig. 5 die Darstellung einzelner Schnittlinien in dem Reifen nach Fig. 4,

Fig. 6 das Abriebsniveau unter der Referenzkontur gemäß Schnittlinie 1 nach Fig. 5,

Fig. 7 das Abriebsniveau unter der Referenzkontur gemäß Schnittlinie 2 nach Fig. 5,

Fig. 8 das Abriebsniveau unter der Referenzkontur gemäß Schnittlinie 3 nach Fig. 5,

Fig. 9 eine Vorrichtung zur Kalibrierung des Meßsystems.

Das aus Reifen 4 und Felge 5 bestehende Rad 1 ist drehbar in äquidistanten Schritten von beispielsweise 400 gon drehbar in einer nicht näher dargestellt Vorrichtung gelagert. Oberhalb des Rades 1 sind an einer Schiene 6 ein LCD-Streifenprojektor 2 und eine Videokamera 3 hängend angeordnet. Der Streifenprojektor 2 und die Kamera 3 sind in vertikaler Richtung verschiebbar an Aufhängungen 7, 8 befestigt. Die Aufhängungen 7, 8 sind wiederum auf der Schiene 6 in horizontaler Richtung linear verschiebbar. Über eine entsprechende Gelenkausbildung sind der Projektor 2 und die Kamera 3 um ihre Aufhängungsachse schwenkbar an der Aufhängung 7, 8 befestigt. Die einzelnen Freiheitsgrade des Meßsystems sind in Fig. 2 durch Doppelpfeile dargestellt.

Sowohl der LCD-Streifenprojektor 2 als auch die Videokamera 3 sind über einen Computer 10 untereinander und mit einem Kontrollmonitor 11 und einem Videoprinter 12 verbunden. Im Computer 10 ist eine geeignete Bildverarbeitungssoftware, beispielsweise "Holon-View" vorgesehen.

Der programmierbare LCD-Streifenprojektor 2 beleuchtet die Profiloberfläche streifenförmig mit strukturiertem Licht (Streifenprojektion). Aufgrund der nicht glatten Oberfläche des Reifens ergibt sich ein nicht geradliniger Linienmustersverlauf. Über die Videokamera 3 wird dieser Linienmustersverlauf aufgezeichnet (vergl. Fig. 3). Durch Überlagerung von mindestens drei phasenverschobenen Streifenprojektionen läßt sich aus dem Interferenzmuster (Moiré-Linien), das bekanntlich aus der bei der Überlagerung resultierenden Auslöschung und Verstärkung der überlagerten Linien entsteht, jedem Punkt auf der Profiloberfläche ein Höhenwert zuordnen. Voraussetzung hierzu ist natürlich, was dem Fachmann geläufig ist, daß das Meßsystem in seiner Aufnahmegeometrie zuvor kalibriert worden ist.

Bei gutem Kontrast der projizierten Linien ist mit dem Phasenshift-Verfahren eine Genauigkeit der Phasenbestimmung von etwa 5% erreichbar. Die mit dem Phasenshift-Verfahren ermittelten Höhenwerte besit-

zen aber noch keine eindeutige Zuordnung, weil der Phasenwinkel nur Modulo 2π eindeutig berechnet werden kann. Das heißt, die tatsächliche Profilhöhe kann aus den Höhenlinien, die durch das Phasenbild gegeben sind, nicht eindeutig angegeben werden.

Hierzu werden im Anschluß an das Phasenshift-Verfahren vom Rechner 10 gesteuert über den Streifenprojektor 2 aufeinanderfolgende Linienmuster nach dem Gray-Code-Verfahren projiziert. Bekanntlich werden bei dem Gray-Code-Verfahren hintereinander Hell-/Dunkelbilder projiziert, wobei die Flächen der Hell- und Dunkelfelder jeweils bei dem nachfolgenden Bild halbiert wird. Die Sequenz der Projektion ist frei wählbar.

Die auf die Profiloberfläche projizierte Linienmustersequenz wird wiederum über die Kamera aufgezeichnet. An den Linienkanten, der Binarisierung des Linienmusters, kann im Rechner 10 eine Höhenbestimmung des vermessenen Profils erfolgen. Eine Höhenzuordnung der Profiloberfläche kann zwar nur grob erfolgen, da sie nur über die Linienkanten möglich ist, dafür ist die Höhenzuordnung aber eindeutig. Im Rechner 10 werden nun die darin gespeicherten aus dem Phasenshift-Verfahren gewonnenen Daten mit denen aus dem Gray-Code-Verfahren gewonnenen Daten verglichen, so daß die Mehrdeutigkeit der Ergebnisse aus den Phasenshift-Verfahren eliminiert werden kann. Es ist nun ein Satz relativer Höhenwerte vorhanden. Um aus den relativen Höhenwerten zu absoluten Höhenwerten zu gelangen werden diese Daten mit den Daten einer Referenzkontur verglichen.

Um eine Referenzkontur zu bestimmen kommen mehrere Verfahren in Betracht, die vom Zustand des Abriebreifens abhängen. Solange der zu vermessende Reifen (Abriebreifen) noch mit der Ausgangskontur vergleichbar ist, erfolgt die Bestimmung der Referenzkontur durch azimutale Mittelung der Höhenwerte auf der Profiloberfläche entlang der einzelnen Meßspuren analog der Gleichung:

$$r_z = 1/2\pi \int_{\omega=0}^{2\pi} r_z(\omega) d\omega$$

Sind die Abriebeffekte so stark, daß die Kontur des Reifens nicht mehr mit der Ausgangskontur vergleichbar ist (Freilaufrihle, Schulterschrägabnutzung) kann die Bestimmung der Referenzkontur durch Spline-Interpolation interaktiv bestimmter Konturpunkte, die für sich mit der Ausgangskontur des Reifens vergleichbar sind, bestimmt werden.

Die ermittelte Referenzkontur wird ebenfalls im Rechner 10 gespeichert. Die aus dem kombinierten Phasenshift-Verfahren und Gray-Code-Verfahren erhaltenen relativen Höhendaten werden von den absoluten Höhendaten der Referenzkontur subtrahiert, wodurch nun absolute Höhendaten der ausschnittsweise vermessenen Profiloberfläche resultieren. Diese absoluten Höhenwerte werden nun ebenfalls im Rechner 10 gespeichert, das Rad 1 um einen Meßabschnitt weitergedreht und die zuvor beschriebenen Projektionen und Berechnungen erneut durchgeführt. Dies wird so oft wiederholt, bis die Profilfläche vollständig vermessen wurde. Die Anzahl der Schritte hängt ab von der Größe des Meßfeldes.

Die ermittelten kalibrierten absoluten Höhenwerte

werden nun durch die Bildverarbeitungssoftware im Rechner 10 unterschiedlichen Grauwerten zugeordnet, so daß auf dem Kontrollmonitor 11 eine Darstellung der Oberfläche des Reifens 4 in unterschiedlichen Tönungen möglich ist (vergl. Fig. 4), so daß der Betrachter aufgrund der unterschiedlichen Tönungen erkennt, wie weit ein Bereich gegenüber der Referenzkontur stärker oder geringer abgenutzt ist. Bei der in Fig. 4 gezeigten Darstellung sind in weiß die Bereiche erkennbar, die gegenüber der Referenzkontur nicht abweichen und in schwarz, die, die zwischen 3,4 und 3,8 mm stärker abgenutzt sind. Um die Darstellung weiter zu verdeutlichen, werden die Grauwerte vorzugsweise unterschiedlichen Falschfarben zugeordnet, wodurch der Kontrast erhöht wird. Die Zwischenbereiche, für die in der Darstellung hier kaum Unterschiede erkennbar sind, wurden dann in völlig anderen Farben erscheinen, so daß sie deutlich erkennbar wären. Fig. 6 bis 8 zeigen das Abrieblniveau entlang den Schnittlinien 1, 2, 3 in Fig. 5, die aus den zuvor ermittelten Daten berechnet wurden.

Der LCD-Streifenprojektor 2 ist unter einem Winkel von ca. 30° zur Orientierung der Kamera montiert. Der optimale Winkel für die Aufnahme ist abhängig von der Meßaufgabe. Je größer der Winkel gewählt werden kann, desto besser ist natürlich die erreichbare Auflösung. Andererseits ist bei kleinerem Winkel aufgrund geringerer Abschattung das Profil besser aufnehmbar. Die Geometrie von Projektor 2, Kamera 3, Reifen 4 muß daher abhängig von der Meßaufgabe, dem Reifenprofil und der Reifengröße empirisch bestimmt werden. Aufgrund der Krümmung des Reifens 4, die eine perspektivische Entzerrung und Koordinatentransformation der Meßdaten erfordert ist für das Meßsystem eine auf die Nabe des Rades 1 aufsetzbare Kalibriervorrichtung 15 vorgesehen, die in vertikaler Richtung verschiebbar und in Drehrichtung des Rades 1 schwenkbar ist. Zum Kalibrieren wird die Vorrichtung 15 auf die Nabe aufgesetzt und eine ebene Platte 16 in vertikaler Richtung seitlich am Rad 5 so weit nach oben gefahren, daß sie mit der Profiloberfläche abschließt (obere Meßvolumenbegrenzung). Anschließend wird sie in die Mittellage und die untere Meßvolumenbegrenzung, zur Berücksichtigung der Reifenkrümmung entsprechend des Meßbildausschnittes verfahren und zur Kalibrierung der Drehachse um die Drehachse des Rades 1 in verschiedene Winkelpositionen geschwenkt. Dabei werden jeweils nach den zuvor beschriebenen Verfahren Aufnahmen gemacht. Mit Hilfe der in den verschiedenen Stellungen gemachten Aufnahmen lassen sich die kartesischen Koordinaten der Originalmessung in Polarkoordinaten überführen. Somit wird dann eine eindeutige Zuordnung der Meßdaten zu ihrer Lage am Reifen 4 (bezogen auf den Radius und den Winkel) ermöglicht.

Die Vorrichtung 15 zum Kalibrieren ist aus Fig. 9 ersichtlich und besteht aus den beiden in vertikaler Richtung relativ zueinander verschiebbaren Schlitten 18a, 18b. Am Schlitten 18a ist die Nabenaufnahme 20 und am Schlitten 18b der Adapter 19 befestigt, beispielsweise verschraubt. Am Adapter 19 ist ein Winkel 17 befestigt, auf dem wiederum die Platte 16, die Kalibrierplatte, angeordnet ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur flächenhaften Vermessung und Erfassung des Profilabriebs auf der Lauffläche eines Fahrzeugreifens, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- die Profitoberfläche des Reifens wird über ihren Umfang in mehrere Meßabschnitte unterteilt,
 - für jeden Meßabschnitt erfolgt mittels strukturierter Lichts eine topometrische Vermessung nach dem Phasenshift-Verfahren, wobei zur Erzeugung des Interferenzmusters mindestens drei phasenverschobene Streifenprojektionen aufgezeichnet werden,
 - zusätzlich zum Phasenshift-Verfahren erfolgt eine topometrische Vermessung jedes Meßabschnitts nach dem Gray-Code-Verfahren,
 - durch Vergleich der aus dem Phasenshift-Verfahren erhaltenen Höhenwerte und der aus dem Gray-Code-Verfahren erhaltenen eindeutigen Höhenzuordnungen wird die Mehrdeutigkeit der Höhenwerte eliminiert,
 - die so erhaltenen eindeutigen Höhenwerte werden mit einer Referenzkontur verglichen und durch Subtraktion werden kalibrierte absolute Höhenwerte der Profitoberfläche ermittelt,
 - die kalibrierten absoluten Höhenwerte werden gespeichert, der Reifen um einen Meßabschnitt weitergedreht und die einzelnen Schritte so oft wiederholt, bis der Reifen über seinen vollen Umfang vermessen wurde.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzkontur durch azimutale Mittelung der zuvor ermittelten kalibrierten, absoluten Höhenwerte entlang einzelner Meßspuren (r_z) analog der Gleichung:

$$r_z = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} r_z(\omega) d\omega$$

ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ausgewählte Konturpunkte interaktiv bestimmt und anhand dieser Konturpunkte mit Hilfe geeigneter mathematischer Interpolationsverfahren (beispielsweise Spline-Interpolation) die Referenzkontur ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst nur über einer Profihälfte die Referenzkontur ermittelt und die erhaltene Referenzkonturhälfte an der Profilmittelachse gespiegelt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Eliminierung von Einflüssen der Schwankungen der Reifengleichförmigkeit über den Umfang des Reifens jeweils der Radius des Zenits bestimmt wird, und an den daraus erhältlichen Kurvenverlauf der kalibrierten absoluten Höhenwerte die ermittelte Referenzkontur angehängt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß den kalibrierten absoluten Höhenwerten von einem Bildverarbeitungssystem entsprechende unterschiedliche Grauwerte zugewiesen und auf einem Bildschirm dargestellt werden, wodurch sich ein Abbild des unterschiedlichen Profilabriebs ergibt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß den unterschiedlichen Grauwerten unterschiedliche Falschfarben zugewiesen werden, zur farblichen Darstellung des Profilabriebs auf dem Bildschirm.

8. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Radiusbestimmung über ein im Zenit aufgelegtes flexibles Band erfolgt.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zur Berechnung einer Referenzkontur die Höhenwerte mehrerer über den Reifen gelegter Bänder ermittelt werden.
10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch

- eine antreibbare Drehvorrichtung für einen Reifen,
- einen oberhalb des Reifens in einem Winkel zur Lotrechten angeordneten programmierbaren LCD-Streifenprojektor, zur Erzeugung von Linienmustern auf der Profitoberfläche,
- eine oberhalb des Reifens gegenüber dem Streifenprojektor und in einem Winkel zur Lotrechten angeordnete Kamera, zur Erfassung der Linienverläufe auf der Profitoberfläche,
- einen mit dem Streifenprojektor und der Kamera verbundenen Rechner zur Bildverarbeitung mit einer Einrichtung zur Erfassung, Auswertung und Darstellung der Meßdaten,
- einen mit dem Rechner verbundenen Monitor,
- einen mit dem Rechner verbundenen Drucker zur Ausgabe der Meßdaten.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Drucker ein Farbdrucker ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Streifenprojektor und die Kamera in zwei zur Drehachse des Reifens senkrechten Richtungen bewegbar und um eine zur Drehachse des Reifens parallele Achse schwenkbar angeordnet sind.
13. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß zur Kalibrierung des Meßsystems ein linear verschiebbarer Tisch mit einer der Größe des ausgewählten Meßabschnittes am Reifen entsprechenden planen Oberfläche auf die Drehachse des Reifens aufsetzbar, über die Höhe des Profils des Reifens verschiebbar und in mehrere Winkelpositionen drehbar ist.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

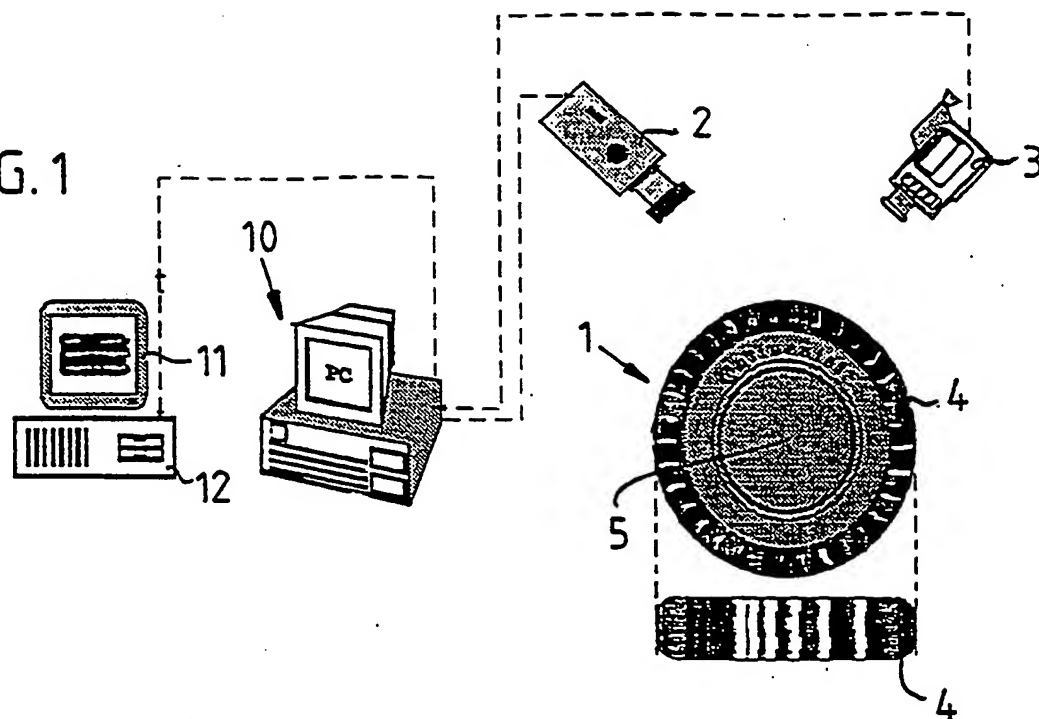


FIG. 2

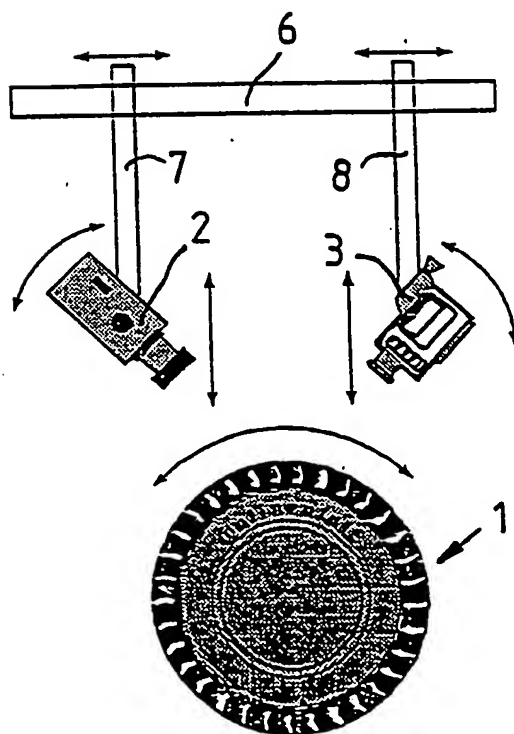
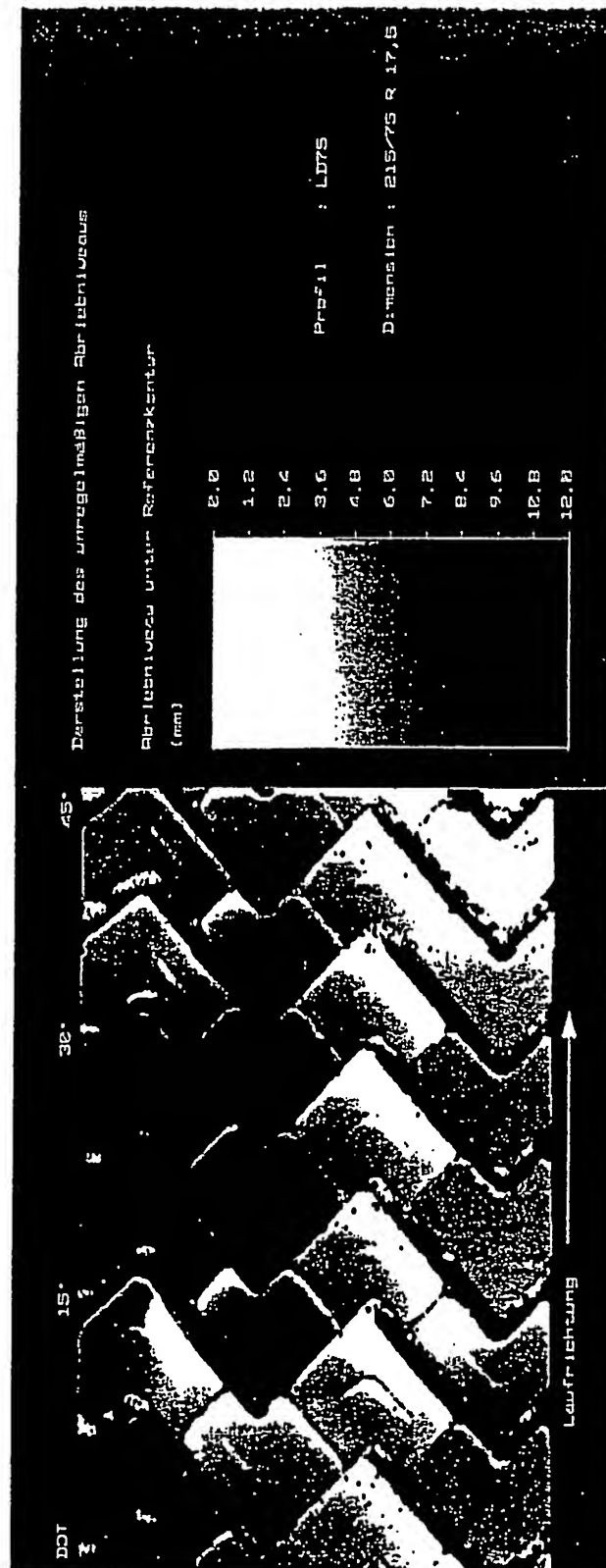


FIG. 3



FIG. 4



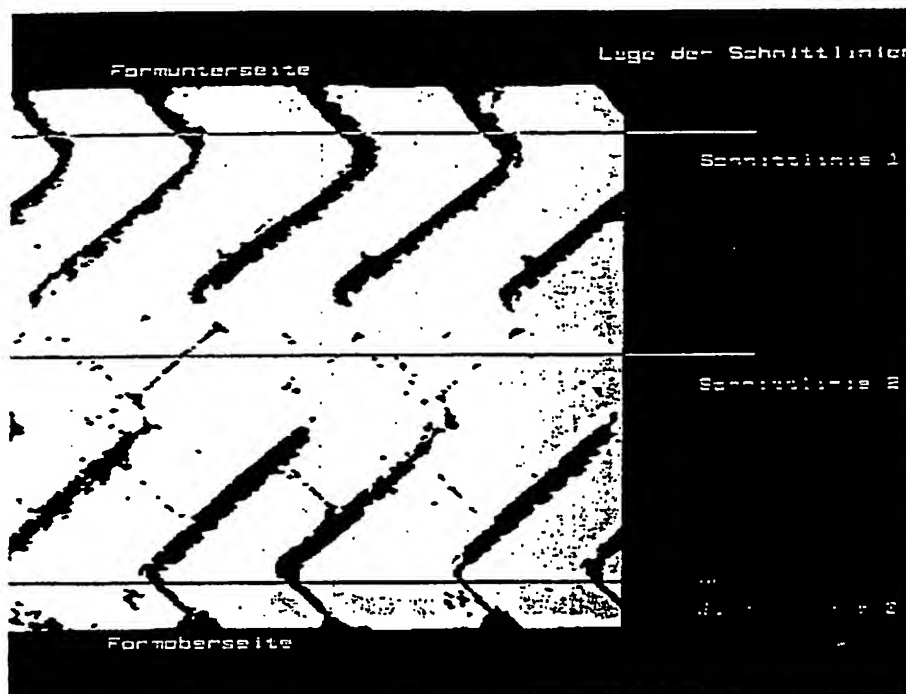
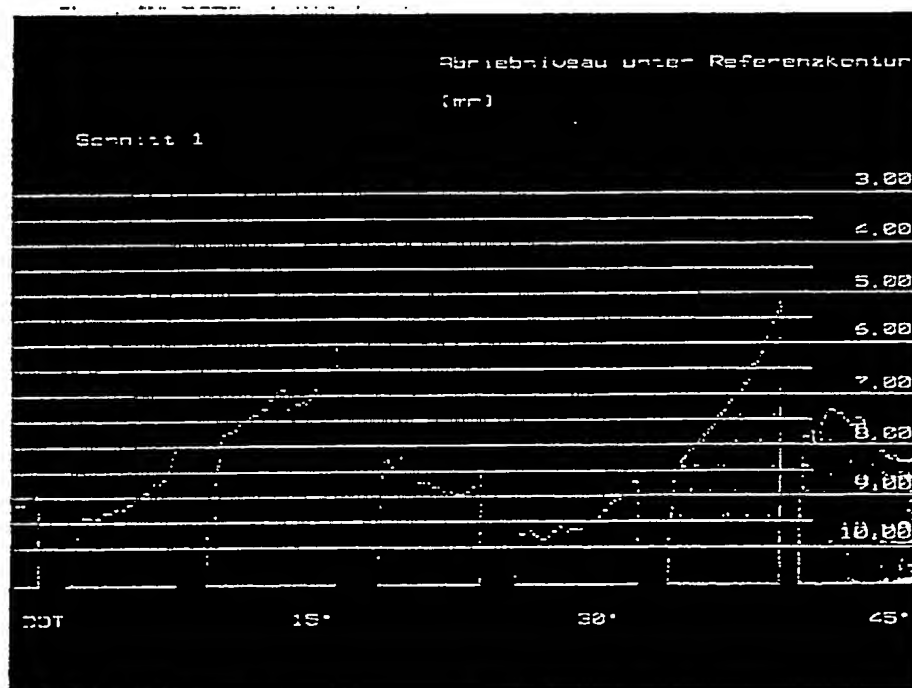


FIG. 5

FIG. 6



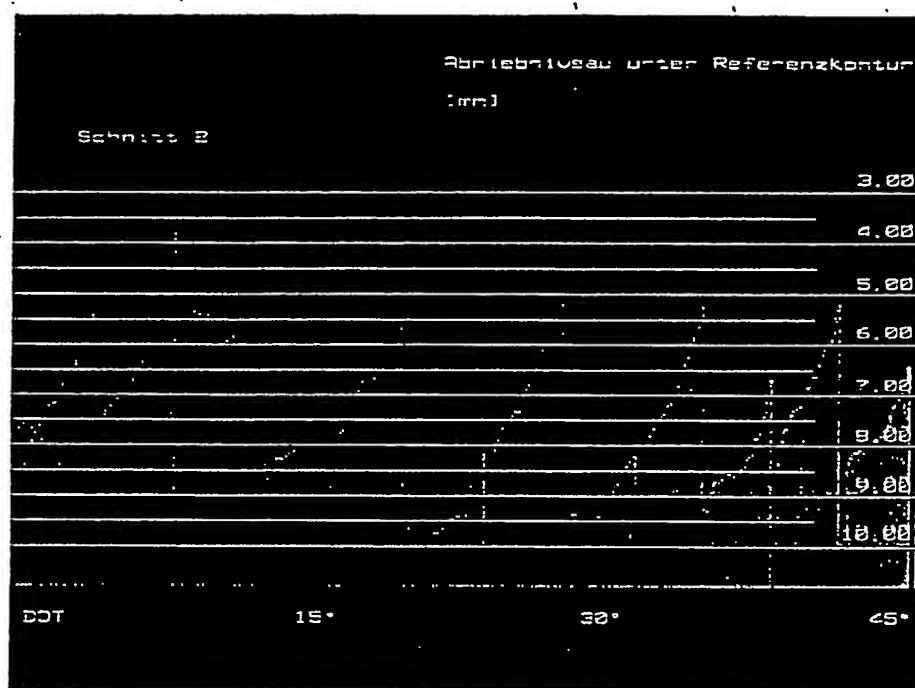
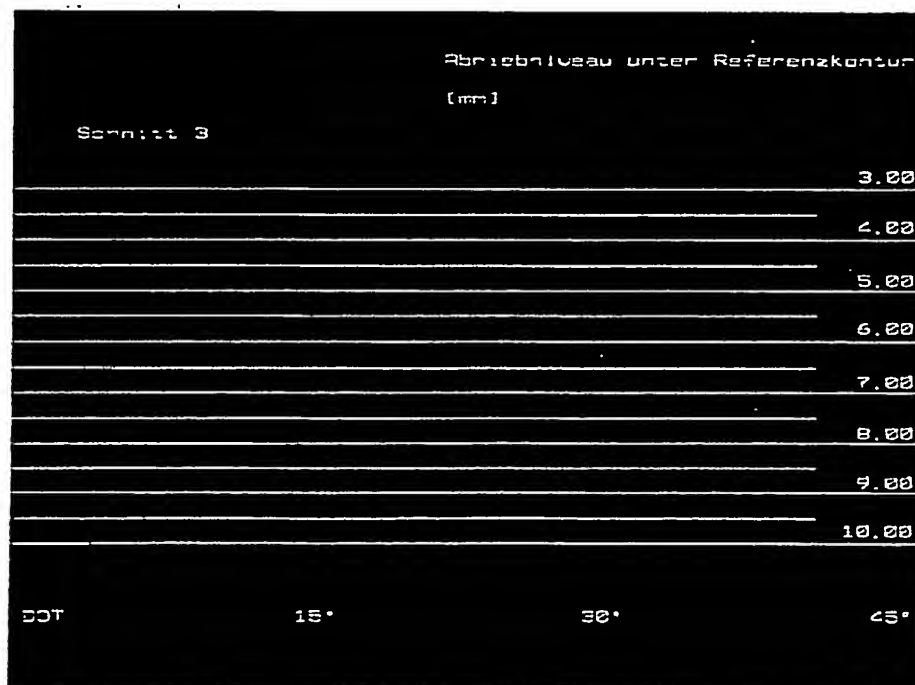


FIG. 7

FIG. 8



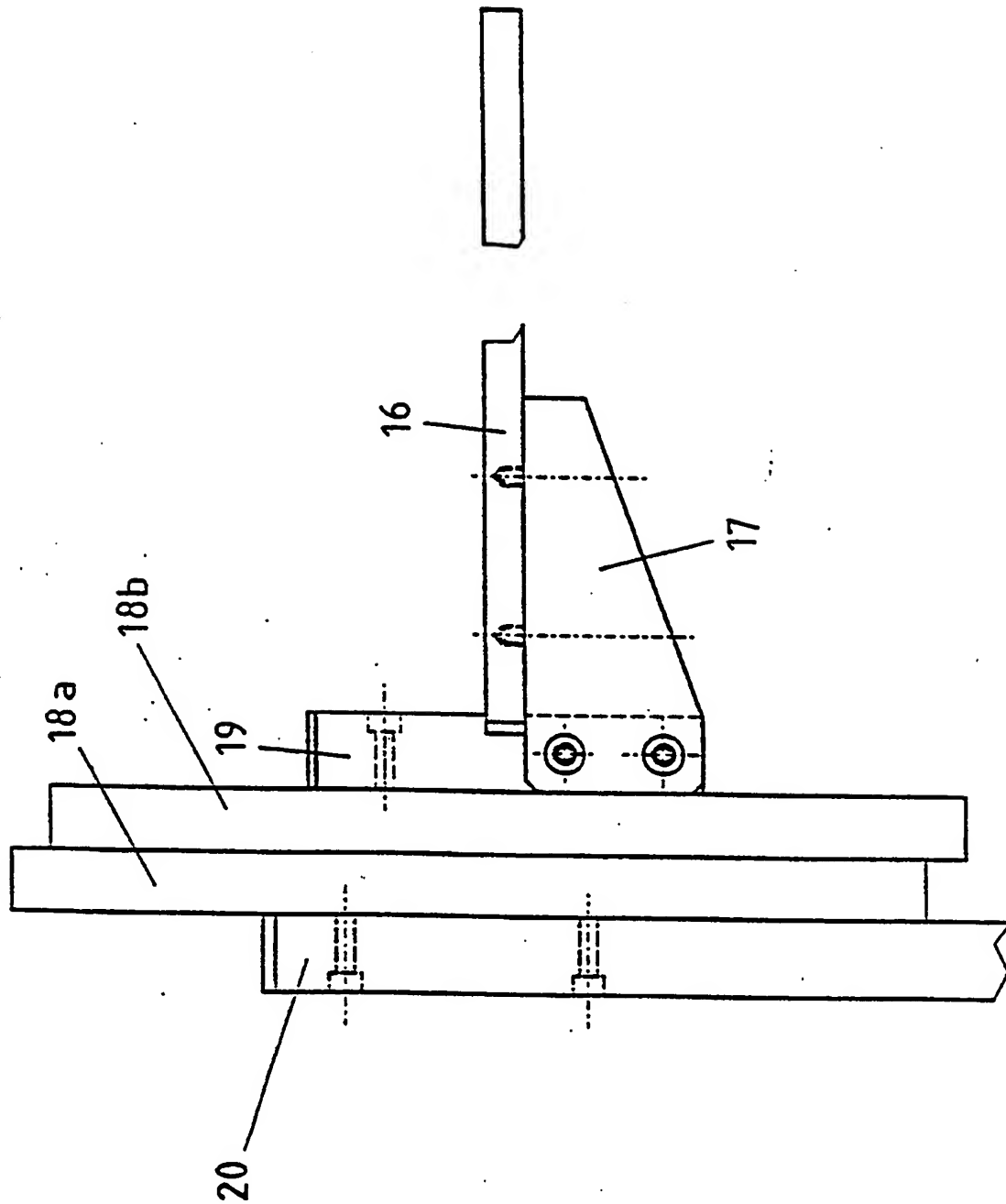


FIG. 9

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.